



# **Especialista en Protección Catódica Nivel 4 Examen Teórico**

**Guía de Preparación para el Examen**

## Índice de Contenido

Introducción .....	3
Audiencia Objetivo .....	3
Requerimientos.....	4
Contenido del Examen.....	5
Tipo de preguntas.....	7
Descripción de las Preguntas .....	7
Preguntas muestra .....	8
Preguntas.....	8
Respuestas.....	9
Preparación.....	9
Entrenamiento—No Requerido .....	9
Material de Estudio Recomendado .....	9
Libros .....	9
Estándares.....	9
Calculadoras.....	10
Material de Referencia Proporcionado en el Examen .....	12

## Introducción

El examen teórico Especialista en Protección Catódica (CP 4) está diseñado para evaluar si un candidato tiene el conocimiento y habilidades necesarias que un Especialista en Protección Catódica calificado debe poseer como mínimo. El examen consiste en 60 preguntas de opción múltiple, opción múltiple con más de una respuesta correcta y preguntas de asociación que requieren la aplicación de conocimiento basado en el cuerpo de conocimiento de Protección Catódica (CP). El candidato debería tener conceptos teóricos y de aplicación práctica de CP con un fuerte enfoque en la interpretación de datos de CP y resolución de problemas.

Nombre del examen	AMPP – Examen Teórico de Especialista en Protección Catódica
Código del examen	NACE-CP4-Teórico
Tiempo	4 horas*
Número de preguntas	60
Formato	Computer Based Testing- CBT

*NOTA: Se proporcionará la evaluación aprobado/reprobado al final del examen. Los exámenes Teórico y Práctico se puntúan por separado, los candidatos deben pasar ambos exámenes.*

**\* El tiempo del examen incluye 4 minutos para el acuerdo de confidencialidad y 6 minutos para el tutorial del sistema.**

*NOTA: El manual del curso CP4 no se proporciona en el examen. El material de referencia se proporciona en formato PDF para preguntas que requieren consultar una ecuación, tabla de conversión, u otra referencia.*

## Audiencia Objetivo

La certificación CP4 está dirigida hacia personas que se desenvuelven en el diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de protección catódica. Antes de tomar el examen o realizar el curso de entrenamiento, los estudiantes deben haber completado el bachillerato o haber tomado cursos de nivel universitario en álgebra, geometría y trigonometría, y deben haber tenido experiencia práctica en protección catódica.

**NOTA: NO hay progresión directa desde el Tecnólogo de Protección Catódica (CP3) al Especialista en Protección Catódica (CP4).** Para el éxito del candidato en este examen es crítico contar con experiencia sustancial, más allá del CP 3, estar envuelto en todos los aspectos de CP, incluyendo el diseño y la educación formal en matemáticas, ciencia e ingeniería. Se recomienda ampliamente asistir al curso de Tecnólogo en Protección Catódica (CP3) antes de intentar el curso de Especialista en Protección Catódica (CP4). Sin embargo, experiencia adicional y educación también son recomendadas.

## Requerimientos

### Especialista en Protección Catódica (CP 4)

#### Requerimientos para Especialista en Protección Catódica (CP 4):

1 Prerrequisito + Experiencia Laboral + 2 Exámenes de Calificación + Solicitud

#### El siguiente prerrequisito es requerido:

Ninguno

#### Requerimientos de Experiencia Laboral:

##### Escoja una de las siguientes opciones de experiencia laboral:

12 años de experiencia laboral comprobable en CP

6 años de experiencia comprobable en CP

**Y**

4 años de Licenciatura en ciencia física o ingeniería

**Y**

Título Avanzado en ciencia física o ingeniería

**OR**

Ingeniero Profesional (licencia de ingeniería en EE.UU.) o equivalente

#### Requerimientos de examen de calificación:

##### Los siguientes exámenes son requeridos: (2 exámenes de calificación requeridos)

Examen Nivel 4 Especialista en Protección Catódica (Teórico)

Examen Nivel 4 Especialista en Protección Catódica (Práctico)

#### Requisito de solicitud:

Solicitud de Especialista en Protección Catódica Aprobada (CP 4)

NOTA: Completar el curso no otorga el título de certificación al candidato

**Entregar solicitud** – Los candidatos deben solicitar esta certificación al enviar una [solicitud en línea](#) la cual está sujeta a aprobación. Las solicitudes deben ser enviadas dentro de los 3 primeros años subsecuentes a la exitosa finalización del examen.

Al completar satisfactoriamente los requisitos, el candidato le será otorgada la **certificación Especialista en Protección Catódica (CP4)**.

## Contenido del Examen

### Básico

- A. Entender la relación entre voltaje, corriente y resistencia como se expresa en la Ley de Ohm.
- B. Entender circuitos básicos de AC y DC, incluyendo series, paralelos y serie-paralelo.
- C. Entender la composición de la celda básica galvánica y las reacciones electroquímicas por las que ocurre la corrosión en el ánodo a diferencia del cátodo.
- D. Entender la causa y efecto de la polarización en una celda galvánica.
- E. Entender que el concepto de protección catódica y de los dos métodos primarios de aplicación a objetos metálicos enterrados o inmersos en un electrolito.
- F. Entender cómo se forman las celdas de corrosión en objetos metálicos que están enterrados o inmersos en un electrolito.
- G. Entender el concepto de apantallamiento y cómo puede afectar objetos metálicos que está catódicamente protegidos.
- H. Entender los principios de magnetismo y cómo se aplica a transformadores.
- I. Ser capaz de identificar diferentes formas de corrosión.
- J. Entender el efecto de la polarización en el ambiente.

### Estudios periódicos

- A. Conducir levantamientos de tubo a suelo en instalaciones.
- B. Conducir lecturas en el rectificador.
- C. Conducir lecturas en juntas.
- D. Conducir lecturas de diodos o interruptores inversores de corriente.
- E. Conducir estudios de resistividad de suelo.
- F. Obtener datos en estaciones de “cupones de prueba externos”.
- G. Conducir levantamientos en plataformas costa fuera y lecturas en risers.
- H. Utilizar un interruptor de corriente para determinar lecturas de caída IR durante los levantamientos a intervalos cortos o levantamientos anuales.
- I. Entender como las lecturas libres de IR pueden ser usadas para determinar el verdadero nivel de polarización de su tubería.
- J. Conducir pruebas de caída de polarización.

### Celdas de Referencia

- A. Entender la construcción y operación de celdas de referencia, así como su mantenimiento de forma que proporcione lecturas comparativas.
- B. Instalar celdas de referencia permanentes y revisarlas periódicamente para asegurar que se encuentran en buen estado.
- C. Cumplir las recomendaciones de la hoja de datos de seguridad en referencia al manejo y disposición final de sulfato de cobre.
- D. Usar la media celda de antimonio en comparación a una de cobre/sulfato de cobre para determinar el pH de suelos.

### Pruebas de Campo

- A. Realizar pruebas de requerimiento de corriente.
- B. Realizar pruebas de pH de suelo.
- C. Realizar pruebas de caída IR.
- D. Realizar pruebas de “encamisado en corto” de los cuáles se sospecha están en corto e interpretar los resultados de la prueba.
- E. Realizar revisiones de revestimiento en secciones de tubería que han sido excavadas.
- F. Realizar pruebas de resistividad de suelo para evaluar el área para una cama anódica convencional.
- G. Conducir levantamiento Pearson para evaluar la condición de un revestimiento en una sección de tubería.
- H. Conducir levantamientos computarizados a intervalos cortos donde sea necesario y evaluar las gráficas producidas a partir de los datos.
- I. Localizar rotura en los cables principales empleando un localizador de cables y tuberías de “tipo audible”.
- J. Investigar cortos en una tubería u otras estructuras.
- K. Verificar los resultados de la prueba de encamisado en corto.
- L. Entender los factores que afectan el desempeño de los sistemas de protección catódica en el ánodo, en el desempeño en la estructura, en el electrolito, en el camino metálico, en la fuente de alimentación, debido al arreglo de ánodos e interferencia.

- M. Realizar pruebas avanzadas de protección catódica empleando técnicas de medición correctas para monitorear el desempeño del sistema de CP e interpretar con precisión los datos recolectados para asegurar un desempeño óptimo del sistema de CP.
- N. Con base en los datos recolectados, determinar si son necesarias correcciones/modificaciones a los componentes del sistema. Identificar errores en las mediciones de CP o datos recolectados incluyendo errores de resistencia por contacto, errores de caída de voltaje, y errores de electrodos de referencia.
- O. Utilizar el instrumento requerido para completar pruebas avanzadas de protección catódica y coleccionar mediciones en los sistemas de protección catódica.
- P. Conducir levantamientos de protección catódica, incluyendo levantamiento a intervalos cortos y DCVG, donde sea necesario o requerido para evaluar los gráficos producidos a partir de los datos coleccionados durante los levantamientos.
- Q. Detección de problemas en rectificadores y hacer correcciones/repares donde sea necesario.
- R. Realizar pruebas de eficiencia en rectificadores.
- S. Instalar nuevos rectificadores.
- T. Entender el uso de cupones externos de CP y ser capaz de identificar si el uso de cupones externos es necesario para un Sistema de CP.
- U. Entender la inspección en línea y la inspección directa (entender y ser capaz de implementar ECDA).

### **Interferencia por corrientes errantes de DC**

- A. Conducir y documentar una prueba de interferencia donde se sospecha que hay corrientes errantes.
- B. Una vez que la prueba de interferencia ha sido realizada, sugerir un método de control que mitigará los efectos de dicha interferencia.
- C. Entender como las estaciones de caída IR pueden ser usadas para evaluar una corriente errante.
- D. Entender como las estaciones de prueba de cupones pueden ser usadas para determinar la presencia y mitigación de corrientes errantes.
- E. Calcular la resistencia requerida para proporcionar la cantidad de drenaje de corriente deseada en la instalación de resistencia puente.
- F. Entender las causas (fuentes) y efectos de una interferencia.
- G. Entender los métodos disponibles para mitigar la interferencia.

### **Mitigación AC**

- A. Entender los requerimientos de seguridad cuando se instalan estaciones de prueba bajo líneas de alto voltaje.
- B. Tomar pasos apropiados para mitigar los efectos de voltajes AC excesivos inducidos en estructuras enterradas.

### **Teoría de corrosión**

- A. Entender la composición de la celda galvánica básica y las reacciones electroquímicas por las que ocurre la corrosión en el ánodo en lugar del cátodo.
- B. Describir las características de las reacciones anódica y catódica.
- C. Entender y aplicar los principios de electricidad y circuitos eléctricos (circuitos serie, paralelo y serie-paralelo) (incluyendo la aplicación de la ley de Ohm y las leyes de Kirchhoff a los circuitos eléctricos).

### **Polarización**

- A. Entender la causa y efecto de la polarización en una celda galvánica.
- B. Entender la activación, concentración, y resistencia a la polarización, así como las expresiones matemáticas de estos conceptos.
- C. Entender los factores que afectan la polarización (área, temperatura, movimiento relativo, concentración iónica, concentración de oxígeno).
- D. Realizar cálculos usando la Ley de Ohm y cálculos relaciones a circuitos en serie y paralelo.
- E. Entender como las celdas de corrosión se forman en objetos metálicos que están enterrados o inmersos en un electrolito.
- F. Entender la Ley de Faraday y realizar cálculos empleando dicha ley para determinar el peso requerido de un ánodo para protección catódica.

### **Protección Catódica**

- A. Entender el concepto de protección catódica y ser experto en los componentes requeridos para los sistemas de ánodos galvánicos y corriente impresa.
- B. Ser capaz de diseñar e instalar formas simples de sistemas de protección catódica galvánicos y de corriente impresa.
- C. Entender la relación entre protección catódica y otros métodos de mitigación de corrosión.
- D. Entender los factores que afectan la cantidad de corriente requerida para un sistema de protección catódica.
- E. Entender los criterios de NACE para la protección catódica y ser capaz de aplicar el criterio y hacer ajustes como sea necesario a los sistemas de CP para cumplir con el criterio definido por la compañía donde el especialista se emplea.
- F. Entender la caída IR y ser capaz de determinar la caída IR y aplicar técnicas de corrección cuando sea necesario.
- G. Entender y aplicar el criterio E Log I y construir curvas de polarización.
- H. Entender el concepto de distribución de corriente y ser capaz de determinar la distribución de corriente ideal para un sistema de CP tomando en cuenta los factores que afectan la distribución (distancia de separación ánodo a cátodo, electrolito y variación de la resistividad de la estructura, atenuación de corriente).
- I. Entender los efectos de la geometría de la trayectoria, los revestimientos protectores y la polarización en la distribución de la corriente.

### **Códigos y cumplimiento**

- A. Debería tener un buen conocimiento laboral de las regulaciones apropiadas que aplican a los productos, transporte o almacenamiento que son usadas por su compañía.
- B. Debería conocer los reportes y otra documentación que es requerida por las agencias que inspeccionan las instalaciones.
- C. Debería tener un buen entendimiento del Código Eléctrico Nacional ya que está relacionado con la protección catódica de las instalaciones en todas las divisiones y clases.
- D. Debería tener un buen conocimiento laboral de prácticas de puesta a tierra y protección contra rayos, así como también como pueden afectar un sistema de CP.

### **Diseño**

- A. Utilizar datos de campo para completar cálculos requeridos para el diseño de fuentes de corriente de protección catódica.
- B. Seleccionar sitios e implementar el diseño de fuentes de corriente de protección catódica para sistemas de distribución o transmisión de tuberías.
- C. Diseñar sistemas de protección catódica para el interior de tanques de agua.
- D. Diseñar protección catódica para el fondo de tanques de almacenamiento superficiales.
- E. Diseñar sistemas de protección catódica para tanques de almacenamiento enterrados.
- F. Trabajar con ingeniería en el uso adecuado de aislamiento para instalaciones diseñadas recientemente.
- G. Proporcionar información del desempeño del revestimiento enterrado para todos aquellos revestimientos seleccionados para nuevas instalaciones.

## **Tipos de Preguntas**

### **Descripción de las Preguntas**

Este examen a libro cerrado contiene preguntas de opción múltiple que pueden tener múltiples respuestas y que requieren selección de más de una respuesta, así como algunos ítems de correspondencia. Las preguntas están basadas en el conocimiento y habilidades requeridas en la industria de CP para un Especialista en Protección Catódica.

## Preguntas muestra

Las preguntas muestra están incluidas para ilustrar los formatos y tipos de preguntas que se presentarán en el examen. Tú desempeño en las preguntas muestra no debe ser considerado como una predicción de tu desempeño en el examen real.

## Preguntas

1. ¿Cuáles de los siguientes enunciados describen la magnitud de los voltajes inducidos geomagnéticamente en una tubería?

### **SELECCIONA TODOS LAS QUE APLIQUEN**

- A. Directamente proporcional a la resistencia del revestimiento.
  - B. Inversamente proporcional a la longitud de la tubería.
  - C. Dependiente de la ubicación relativa de la tubería con respecto a los polos magnéticos.
  - D. Varía a lo largo del día.
2. ¿Cuáles de las siguientes situaciones de interferencia eléctrica provocan efectos adversos?
- A. Recolección de corrientes errantes de DC en una tubería sin revestimiento de acero bajo carbono.
  - B. Densidad de una corriente errante de  $AC < 2 \text{ mA} / \text{cm}^2$  en acero
  - C. Descarga de una corriente errante desde una tubería de hierro fundido.
  - D. Potencial de polarización en acero en acero cambiando de  $-1080 \text{ mV}_{\text{CSE}}$  a  $-880 \text{ mV}_{\text{CSE}}$

## Respuestas

1. A, C, y D
2. C

## Preparación

### Entrenamiento—No Requerido

AMPP Especialista de Protección Catódica—Curso CP 4 (Disponible)

AMPP Tecnólogo de Protección Catódica—Curso CP 3 (Disponible)

AMPP Técnico de Protección Catódica—Curso CP 2 (Disponible)

AMPP Ensayista de Protección Catódica—Curso CP 1 (Disponible)

### Material de Estudio Recomendado

#### Libros

Peabody, A. W. (2001). *Peabody's control of pipeline corrosion* (No. Ed. 2).

AMPP Especialista de Protección Catódica—CP 4 material del curso

#### Estándares

NACE SP 0207 (2007). “Performing Close Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines.”

NACE SP 0169 (2013). “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.” NACE International.

NACE SP 0177 (2014). “Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.”

## Calculadoras

Los estudiantes tendrán acceso a una calculadora TI Estándar o TI Científica para uso durante el Examen CBT

### Calculadora Estándar



#### Funciones Modo Estándar

Sumar	[+]	
Restar	[-]	
Multiplicar	[x]	
Dividir	[÷]	
Negativo	[(-)]	
Porcentaje	[%]	
Raíz Cuadrada	[√]	Ejemplo: 4[√]
Recíproco (Inverso)	[x <sup>-1</sup> ]	Ejemplo: 1[÷]2
Almacenar valor como variable	[M+]	Ejemplo: 3[x]5[=][M+]
Acceso a la variable	[MRC]	Ejemplo: 7[+][MRC][=]
Borrar variable	[M-]	



### Calculadora científica

#### Funciones Modo Científico

Sumar	[+]	
Restar	[-]	
Multiplicar	[x]	
Dividir	[÷]	
Negativo	[(-)]	
Porcentaje	[2nd][%]	
Raíz Cuadrada	[√]	Ejemplo: [2nd][√]4[enter]
Recíproco (Inverso)	[X <sup>-1</sup> ]	Ejemplo: 2[X <sup>-1</sup> ][enter]
Almacenar valor como variable	[sto] [X <sup>Y2</sup> ]	Ejemplo: 3[x]5[enter] [sto] [X <sup>Y2</sup> ][enter]
Acceso a la variable	[X <sup>Y2</sup> ] o [2nd][recall]	Ejemplo: 7[+][2nd][recall][enter][enter]

### Notación Numérica

#### Estándar (Decimal flotante)

Notación (dígitos a la izquierda y derecha del decimal)

modo menú opciones  
**NORM** SCI ENG  
FLOAT 0 1 2 3 4 5 ...

Ejem. 123456.78  
Ejem. 123456.7800

#### Notación Científica

(1 dígito a la izquierda del decimal y poder apropiado de 10)

modo menú opciones  
NORM **SCI** ENG

Ejem. 1.2345678\*10<sup>5</sup>

#### Notación de Ingeniería

(número de 1 a 999 veces 10 a un poder íntegro que es un múltiplo de 3)

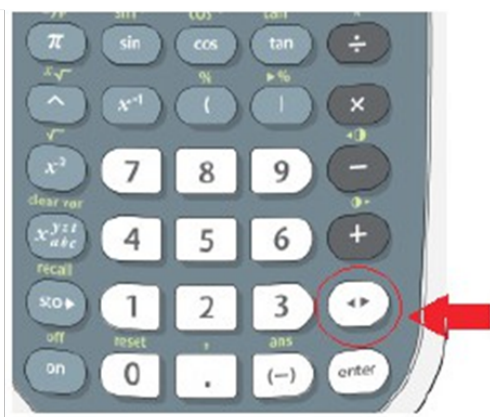
modo menú opciones  
NORM SCI **ENG**

Ejem. 123.45678\*10<sup>3</sup>

<b>Fraciones</b>		
Fraciones simples	[n/d]	
Números mixtos	[2nd] [Un/d]	
Conversión entre fracciones simples y números mixtos	[2nd] [n/d] ◀▶ Un/d]	
Conversión entre fracción y decimal	[2nd] [f ▶▶ d]	
<b>Potenciadores, raíces e inversos</b>		
Elevar al cuadrado un valor	[x <sup>2</sup> ]	
Elevar al cubo un valor	[^]	
Elevar un valor a una potencia especificada	[^]	Ejemplo (2 <sup>4</sup> ) 2[^]4
Raíz Cuadrada	[2nd][√]	Ejemplo (√16): [2nd][√]16
Reciproco (Inverso)	[X <sup>-1</sup> ]	Ejemplo: (n <sup>ta</sup> raíz) 5 <sup>ta</sup> raíz de 8 5[2nd][x <sup>√</sup> ]8
Pi		
PI (π)	[π]	


### Alternador

La calculadora científica puede mostrar el resultado de ciertos cálculos como fracción – posiblemente en operaciones que involucren pi o una raíz cuadrada. Para convertir este tipo de resultados a un número sencillo con punto decimal, necesitarás hacer uso del botón “alternar respuesta (toggle answer)” que se encierra en un círculo en la figura de abajo. Al presionar este botón el formato de presentación cambiará de fraccional a decimal.




### Answer Toggle



Press the  key to toggle the display result between fraction and decimal answers, exact square root and decimal, and exact pi and decimal.

#### Example

Answer toggle	[2nd] [√] 8 enter	$\sqrt{8}$ $2\sqrt{2}$
		$\sqrt{8}$ $2\sqrt{2}$ 2.828427125

Nota: Si encuentras difícil de usar esta presentación de pantalla, puedes alzar tu mano y preguntar al administrador del examen que te proporcione una calculadora de mano. **Si hay disponible**, te será entregada una calculadora científica o no científica. Los candidatos no tienen permitido traer su propia calculadora dentro del área indicada para el examen.

## Material de Referencia Proporcionado en el Examen

**NOTA:** Todas las referencias, incluyendo ecuaciones, fueron tomadas de las fuentes originales y pueden diferir de aquellas empleadas en el manual del curso y presentaciones.

### ECUACIONES

#### RESISTENCIA A TIERRA DE UN ÁNODO VERTICAL

$$R_v = \left[ \frac{0.00521\rho}{L} \right] \left[ \ln \left[ \frac{8L}{d} \right] - 1 \right]$$

Donde:

$R_v$  = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-cm

$L$  = longitud del ánodo en pies

$d$  = diámetro del ánodo en pies

O

$$R_v = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left[ \frac{8L}{d} \right] - 1 \right]$$

Donde:

$R_v$  = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-m

$L$  = longitud del ánodo en m

$d$  = Diámetro del ánodo en m

#### RESISTENCIA A TIERRA DE MÚLTIPLES ÁNODOS VERTICALES

$$R_v = \left[ \frac{0.00521\rho}{NL} \right] \left[ \ln \left[ \frac{8L}{d} \right] - 1 + \left[ \frac{2L}{S} \right] \ln(0.66N) \right]$$

Donde:

$R_v$  = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-cm

$L$  = longitud del ánodo en pies

$N$  = número de ánodos

$S$  = espaciamiento de ánodos de centro a centro en pies

$d$  = diámetro del ánodo en pies

O

$$R_v = \left[ \frac{\rho}{2\pi NL} \right] \left[ \ln \left[ \frac{8L}{d} \right] - 1 + \left[ \frac{2L}{S} \right] \ln(0.66N) \right]$$

Donde:

$R_v$  = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-m

$L$  = longitud del ánodo en m

$N$  = número de ánodos

$S$  = espaciamiento de ánodos de centro a centro en m

$d$  = diámetro del ánodo en m

NOTE: Use las unidades especificadas

### RESISTENCIA A TIERRA DE UN ÁNODO HORIZONTAL

$$R_H = \left[ \frac{0.00521\rho}{L} \right] \left[ \ln \left[ \frac{4L^2 + 4L\sqrt{S^2 + L^2}}{dS} \right] + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{L} - 1 \right]$$

Donde:

$R_H$  = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-cm

$L$  = longitud del ánodo en pies

$S$  = El doble de la profundidad del ánodo en pies

$d$  = Diámetro del ánodo en pies

O

$$R_H = \left[ \frac{\rho}{2\pi L} \right] \left[ \ln \left[ \frac{4L^2 + 4L\sqrt{S^2 + L^2}}{dS} \right] + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{L} - 1 \right]$$

Donde:

$R_H$  = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-m

$L$  = longitud del ánodo en m

$S$  = El doble de la profundidad del ánodo en m

$d$  = Diámetro del ánodo en m

### RESISTENCIA A TIERRA DE MÚLTIPLES ÁNODOS HORIZONTALES

$$R_T = \frac{R_H}{N} F$$

Donde:

$R_T$  = resistencia de múltiples ánodos horizontales en ohms

$F$  = interferencia del ánodo ó Factor de apiñonamiento

$R_H$  = resistencia de un ánodo horizontal en ohms

$N$  = número de ánodos

### FACTOR DE ACOMPLAMIENTO

Donde:

$R$  = Factor de acoplamiento en mV/A

$\Delta V$  = Cambio de potencial tubo a suelo en mV

$\Delta I$  = Corriente aplicada en A

### INTERFERENCIA DEL ÁNODO ENTRE ÁNODOS (Factor de apiñonamiento)

$$F = 1 + \frac{\rho}{\pi S R_H} \ln 0.66N$$

Donde:

$F$  = interferencia del ánodo ó Factor de apiñonamiento

$\rho$  = resistividad en ohm-m

$R_H$  = resistencia de un ánodo horizontal en ohms

$N$  = número de ánodos

$S$  = distancia entre ánodos en m

**CALCULAR LA RESISTENCIA DEL CABLE O TUBERÍA A PARTIR DE LA RESISTIVIDAD (Ley de Pouillet)**

$$R = \rho L / A$$

Donde:

R = resistencia en ohms

$\rho$  = resistividad en ohm-cm

A = Área de la sección transversal en  $\text{cm}^2$

L = longitud del ánodo en cm

**LONGITUD DE LA ESTRUCTURA SIN REVESTIMIENTO RECIBIENDO PROTECCIÓN**

$$L = 2d \tan 60^\circ$$

Donde:

d = distancia perpendicular entre el ánodo y la estructura

L = Longitud de la estructura recibiendo protección

**CONVERSIÓN DE TEMPERATURA**

$$^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (^\circ\text{F} - 32^\circ)$$

$$^\circ\text{F} = \frac{9}{5} (^\circ\text{C}) + 32^\circ$$

**RESISTIVIDAD DEL SUELO, MÉTODO WENNER**

$$\rho = 2\pi AR$$

Donde:

$\rho$  = resistividad en ohm-cm

A = Distancia entre puntas en cm

R = resistencia del suelo en ohms (lectura del instrumento)

o

$$\rho = 191.5 AR$$

Donde:

$\rho$  = resistividad en ohm-cm

A = Distancia entre puntas en pies

R = resistencia del suelo en ohms (lectura del instrumento)

**CORRECCIÓN DE MEDICIÓN DE IMPEDANCIA DE ENTRADA**

$$E_{true} = \frac{V_h(1 - K)}{1 - K \frac{V_h}{V_l}}$$

Donde:

$E_{true}$  = voltaje verdadero en V

K = relación de resistencia de entrada  $\frac{R_l}{R_h}$

$R_l$  = resistencia de entrada más baja en ohms

$R_h$  = resistencia de entrada más alta en ohms

$V_l$  = voltaje medido con la resistencia de entrada más baja en V

$V_h$  = voltaje medido con la resistencia de entrada más alta en V

## ATENUACIÓN



Donde:

$I_s$  = Corriente en el extremo enviante en Amperes

$E_s$  = Potencial en el extremo enviante en mV

$y$  = número de unidades de longitud desde extremo enviante

$x$  = número de unidades de longitud desde el extremo receptor

$I_r$  = Corriente en el extremo receptor en Amperes

$E_r$  = Potencial en el extremo receptor en mV

$$E = E_r \cosh(\alpha x) + R_G I_r \sinh(\alpha x)$$

$$E = E_s \cosh(\alpha y) - R_G I_s \sinh(\alpha y)$$

$$I = I_r \cosh(\alpha x) + \frac{E_r}{R_G} \sinh(\alpha x)$$

$$I = I_s \cosh(\alpha y) - \frac{E_s}{R_G} \sinh(\alpha y)$$

$$\alpha = \sqrt{r g}$$

Donde:

$\alpha$  = constante de atenuación

$r$  = resistencia longitudinal de la estructura en ohms

$g$  = conductancia a tierra en S

$$r' = R_L A_s$$

Donde:

$r'$  = resistencia de fuga específica in ohm-m<sup>2</sup> (ohm-pie<sup>2</sup>)

$R_L$  = resistencia de fuga promedio total en ohms

$A_s$  = Área de superficie total en m<sup>2</sup> (pie<sup>2</sup>)

$$R_G = \sqrt{\frac{r}{g}}$$

Donde:

$R_G$  = resistencia característica

$r$  = resistencia longitudinal de la estructura en ohms

$g$  = conductancia a tierra en S

$$R_{SO} = R_G \coth(\alpha x)$$

Donde:

$R_{SO}$  = Resistencia analizando a línea abierta en ohms

$$R_G = \sqrt{R_{SO} R_{SS}}$$

Donde:

$R_{SS}$  = Resistencia analizando a línea abierta en ohms

### DENSIDAD DE CORRIENTE AC

$$i_{AC} = \frac{8V_{AC}}{\rho \pi d}$$

Donde:

$i_{AC}$  = densidad de corriente AC en  $A/m^2$

$V_{AC}$  = Voltaje AC en V

$\rho$  = resistividad en ohm-m

$d$  = diámetro del defecto (holiday) en m

### CONVERSIÓN DE TEMPERATURA PARA ELECTRODO DE REFERENCIA

$$E = E_{25^{\circ}C/SHE}^{\circ} + k_t(T - 25^{\circ}C)$$

Donde:

$K_t$  = coeficiente de temperatura en  $mV/(^{\circ}C)$

$E_t$  = Potencial de referencia a temperatura T en  $^{\circ}C$  (SHE)

$E_{25^{\circ}C/SHE}^{\circ}$  = Potencial de referencia a  $25^{\circ}C$

### LEY DE KIRCHHOFF

$$V_m = \frac{R_m}{R_t} E_t$$

Donde:

$V_m$  = caída de voltaje a través del voltmetro

$R_m$  = Resistencia de entrada del voltmetro

$R_t$  = Resistencia total

$E_t$  = Potencial verdadero

### LEY DE FARADAY

$$\Delta m = \frac{MQ}{zF}$$

Donde:

$\Delta m$  = masa del metal disuelto

$M$  = peso atómico

$Q$  = carga eléctrica transferida

$z$  = valencia de los iones metálicos

$F$  = Constante de Faraday

### PESO MÍNIMO DE CUALQUIER ÁNODO

$$W = \frac{I_{cp} L C_r}{U E} \quad \text{O} \quad W = \frac{I_{cp} L}{C_a U E}$$

Donde:

$W$  = Peso mínimo del material del ánodo en Kg (lb)

$I_{cp}$  = protección catódica en amperes

$L$  = Vida del ánodo en años

$C_r$  = tasa de consume teórica del material de ánodo en

$$\frac{kg}{Amp - año} \left( \frac{lb}{Amp - año} \right)$$

$C_a$  = capacidad teórica del material del ánodo en

$$\frac{Amp - año}{Kg} \left( \frac{Amp - año}{lb} \right)$$

$U$  = factor de utilización

$E$  = eficiencia electroquímica

## Conversión de unidades típicas empleadas en EE.UU. a unidades métricas de medida empleadas en publicaciones relacionadas a corrosión

1 A/ft <sup>2</sup>	= 10.76 A/m <sup>2</sup>
1 acre	= 4,047 m <sup>2</sup> = 0.4047 ha
1 Ah/lb	= 2.205 Ah/kg
1 bbl (oil, U.S.)	= 159 L = 0.159 m <sup>3</sup>
1 bpd (oil)	= 159 L/d = 0.159 m <sup>3</sup> /d
1 Btu	= 1,055 J
1 Btu/ft <sup>2</sup>	= 11,360 J/m <sup>2</sup>
1 Btu/h	= 0.2931 W
1 Btu/h-ft <sup>2</sup>	= 3.155 W/m <sup>2</sup> (K-factor)
1 Btu/h-ft <sup>2</sup> ·°F	= 5.678 W/m <sup>2</sup> ·K
1 Btu-in/h-ft <sup>2</sup> ·°F	= 0.1442 W/m·K
1 cfm	= 28.32 L/min = 0.02832 m <sup>3</sup> /min = 40.78 m <sup>3</sup> /d
1 cup	= 236.6 mL = 0.2366 L
1 cycle/s	= 1 Hz
1 ft	= 0.3048 m
1 ft <sup>2</sup>	= 0.0929 m <sup>2</sup> = 929 cm <sup>2</sup>
1 ft <sup>3</sup>	= 0.02832 m <sup>3</sup> = 28.32 L
1 ft·lbf (energy)	= 1.356 J
1 ft·lbf (torque)	= 1.356 N·m
1 ft/s	= 0.3048 m/s
1 gal (Imp.)	= 4.546 L = 0.004546 m <sup>3</sup>
1 gal (U.S.)	= 3.785 L = 0.003785 m <sup>3</sup>
1 gal (U.S.)/min (gpm)	= 3.785 L/min = 0.2271 m <sup>3</sup> /h
1 gal/bag (U.S.)	= 89 mL/kg (water/cement ratio)
1 grain	= 0.06480 g = 64.80 mg
1 grain/ft <sup>3</sup>	= 2.288 g/m <sup>3</sup>
1 grain/100 ft <sup>3</sup>	= 22.88 mg/m <sup>3</sup>
1 hp	= 0.7457 kW
1 microinch (μin)	= 0.0254 μm = 25.4 nm
1 in	= 0.0254 m = 2.54 cm = 25.4 mm
1 in <sup>2</sup>	= 6.452 cm <sup>2</sup> = 645.2 mm <sup>2</sup>
1 in <sup>3</sup>	= 16.387 cm <sup>3</sup> = 0.01639 L
1 in·lbf (torque)	= 0.113 N·m
1 inHg	= 3.386 kPa

1 inH <sub>2</sub> O	= 249.1 Pa
1 knot	= 0.5144 m/s
1 ksi	= 6.895 MPa
1 lb	= 453.6 g = 0.4536 kg
1 lbf/ft <sup>2</sup>	= 47.88 Pa
1 lb/ft <sup>3</sup>	= 16.02 kg/m <sup>3</sup>
1 lb/100 gal (U.S.)	= 1.198 g/L
1 lb/1,000 bbl	= 2.853 mg/L
1 mA/in <sup>2</sup>	= 0.155 mA/cm <sup>2</sup>
1 mA/ft <sup>2</sup>	= 10.76 mA/m <sup>2</sup>
1 Mbbpd (oil)	= 159 kL/d = 159 m <sup>3</sup> /d
1 mile	= 1.609 km
1 square mile	= 2.590 km <sup>2</sup>
1 mile (nautical)	= 1.852 km
1 mil	= 0.0254 mm = 25.4 μm
1 MMcfd	= 2.832 x 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /d
1 mph	= 1.609 km/h
1 mpy	= 0.0254 mm/y = 25.4 μm/y
1 oz	= 28.35 g
1 oz fluid (Imp.)	= 28.41 mL
1 oz fluid (U.S.)	= 29.57 mL
1 oz/ft <sup>2</sup>	= 2.993 Pa
1 oz/gal (U.S.)	= 7.49 g/L
1 psi	= 0.006895 MPa = 6.895 kPa
1 qt (Imp.)	= 1.1365 L
1 qt (U.S.)	= 0.9464 L
1 tablespoon (tbs)	= 14.79 mL
1 teaspoon (tsp)	= 4.929 mL
1 ton (short)	= 907.2 kg
1 U.S. bag cement	= 42.63 kg (94 lb)
1 yd	= 0.9144 m
1 yd <sup>2</sup>	= 0.8361 m <sup>2</sup>
1 yd <sup>3</sup>	= 0.7646 m <sup>3</sup>

## TABLAS / ESCALAS

### ELECTRODOS DE REFERENCIA COMUNES Y SUS POTENCIALES AL COEFICIENTE DE TEMPERATURA DADO

Electrodo de Referencia	Solución de Electrolito	Potencial @ 25°C (V/ <sub>SHE</sub> )	Temperatura Coeficiente (mV/°C)
Cu / CuSO <sub>4</sub> (CSE)	Sat. CuSO <sub>4</sub>	+0.316	0.9
Ag / AgCl (SJ) (SSC)	0.6M NaCl (3½%)	+0.256	-0.33
Ag / AgCl (LJ) (SSC)	Sat. KCl	+0.222	-0.70
Ag / AgCl (LJ) (SSC)	0.1N KCl	+0.288	-0.43
Sat. Calomel (SCE)	Sat KCl	+0.244	-0.70
Zn (ZRE)	Solución Salina	-0.79	---
Zn (ZRE)	Suelo	-0.80	---

SJ – Acomplamiento Sólido    LJ – Acomplamiento líquido

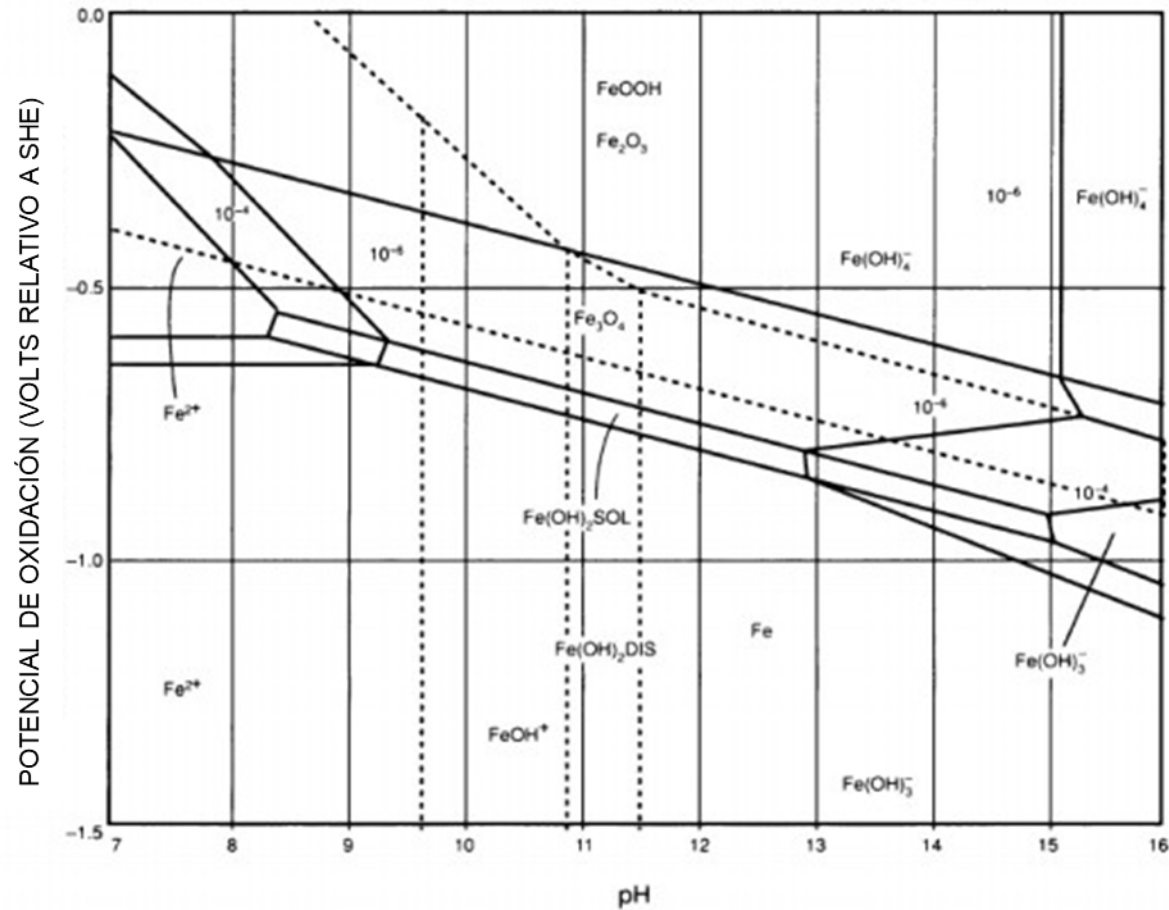
## TASA DE CONSUMO TÍPICA Y CAPACIDAD DE DIFERENTES MATERIALES ANÓDICOS EN SUELOS O AGUA DULCE

		Tasa de consumo teórica		Capacidad teórica		Eficiencia típica <sup>(1)</sup>
		kg / A-y	lb. / A-y	A-y / kg	A-y / lb.	%
Material del ánodo galvánico	Magnesio	3.98	8.76	0.250	0.114	50
	Zinc	10.76	23.50	0.093	0.042	90
	Aluminio	2.94	6.49	0.340	0.155	85 - 95
Ánodo de corriente impresa	Grafito/Carbón	0.1 to 1.0	0.22 to 2.2	10.1 to 1.0	4.5 to 0.45	
	Hierro alto silicio	0.25 to 1.0	0.55 to 2.2	4.0 to 1.0	1.8 to 0.45	
	Acero	9.1	20	0.11	0.05	90

Nota: Los ánodos con cubierta de platino y de óxidos metálicos mixtos son cuantificados por el espesor de la superficie de película en lugar de ser cuantificados por peso.

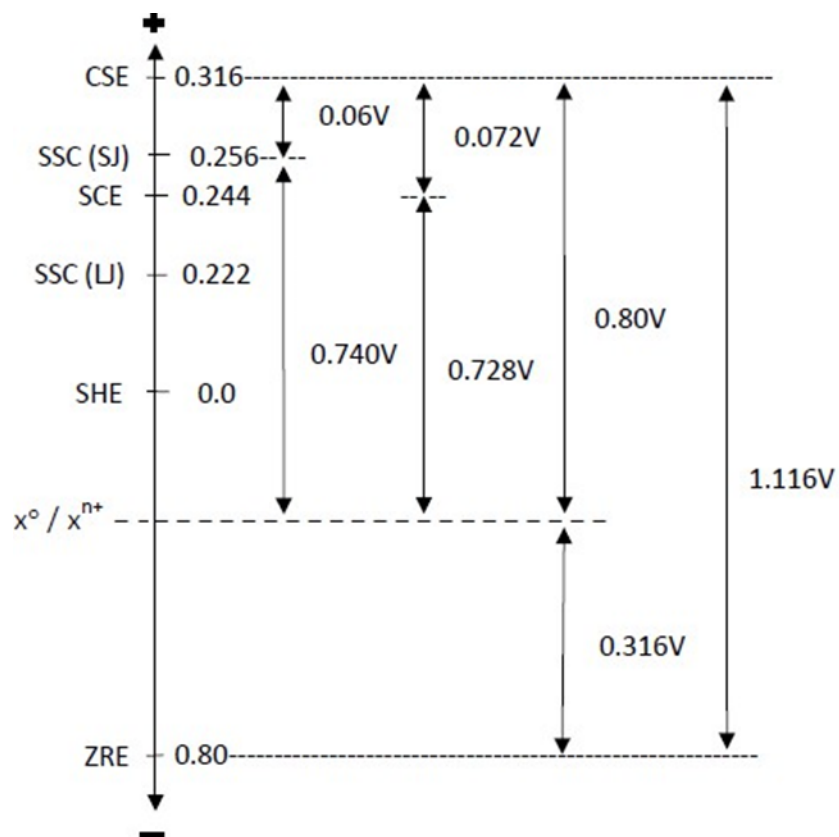
(1) La eficiencia de los ánodos galvánicos es dependiente de la densidad de corriente del ánodo

## DIAGRAMA POTENCIAL-pH (POURBAIX) TÍPICO PARA HIERRO EN AGUA A 25°C



LAS ESPECIES IÓNICAS ESTÁN A ACTIVIDADES DE  $10^{-4}$  Y  $10^{-6}$

## ESCALAS DE CONVERSIÓN DE ELECTRODOS DE REFERENCIA



(SJ) = sólido únicamente cloruro de plata (AgCl) sobre el alambre de plata

(LJ) = Un alambre de plata rodeado por una solución concentrada de KCl

## **REFERENCIAS Y ESTÁNDARES EMPLEADOS PARA DESARROLLAR EL MATERIAL DE REFERENCIA**

*Peabody's Control of Pipeline Corrosion* (No. Ed 2).

Peabody, A.W. (2001). NACE.

- Derived from equations in “Calculation of Resistance to Ground,” by H.B. Dwight. Electrical Engineering, (1936).
- Derived from equations in “Earth Conduction Effects in Transmission Systems,” by Erling D., Sunde. D. Van Nostrand Co., Inc. (1949).

*Corrosion Tests and Standards: Application and Interpretation—Second Edition.* (2005). Baboian, R. ASTM.

*Handbook of Cathodic Corrosion Protection—Third Edition.* Von Baeckmann, W., Schwenk, W., Prinz, W. (1997) Gulf Professional Publishing.

*Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions.* Pourbaix, M. (1974). NACE.

*NACE Corrosion Engineers Reference Handbook*, Baboian, 3<sup>rd</sup> Edition (2002)

*Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection*, Parker, M.E. 3<sup>rd</sup> Edition (1999)

*Deep Anode Systems: Design, Installation, and Operation*, Lewis, T.H. (2000). NACE.

“A Comparison of Anodes for Impressed Current Systems,” Jakobs, J.A., NACE Canadian Region, Western Conference. (1980)

“Soil Investigation Employing a New Method of Layer-Value Determination for Earth Resistivity Interpretation,” Barnes, H.E. (1952). Michigan State Highway Department.

“Improved Pipe-to-Soil Potential Survey Methods, PRCI Final Report,” PR-186-807. Thompson, N.G., Lawson, K.M. (1991)

“American National Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System” ASTM SI 10. (2002). ASTM

NACE SP 0169 (2013). “Control of External Corrosion on Underground of Submerged Metallic Piping Systems.”

NACE SP 0200 (2014). “Steel-Case Pipeline Practices.”

NACE SP 0575 (2007). “Internal Cathodic Protection (CP) Systems in Oil-Treating Vessels.”

NACE TM 0102 (2002). “Measurement of Protective Coating Conductance on Underground Pipelines.”